УДК. 621.86.061

Я. Проць, П. Федорів

РЕГУЛЬОВАНИЙ ПНЕВМОСТРУМЕНЕВИЙ ЗАХОПЛЮВАЧ

У статті "Регульований пневмоструменевий захоплювач" розглядається будова й принцип роботи універсального пневмоструменевого захоплювача, в якому для поштучного захоплення заготовок використовується аеродинамічний ефект. Захоплювач має можливість самостійно регулювати силу утримування відокремленої заготовки в залежності від її маси з допомогою змінного клапана, який через плунжер має зв'язок з поверхнею заготовки. У статті також наведені докладні розрахунки декількох видів елементів, регулюючих розхід робочого агента захоплювача.

Умовні позначення:

β - кут нахилу щілини клапана, град.;

μ - коефіцієнт витрат повітря ;

θ - мінімальна площа прохідної щілини клапана, мм^2;
ρ_a - густина повітря при нормальних умовах, кг/м^3;
c - жорсткість пружини, Н/м;
D - найбільший діаметр контакту конусної поверхні і сідла клапана, мм;
D_K - діаметр кульки, мм;
D_y - умовний діаметр каналу клапана, мм;
d - діаметр хвостовика, мм;
d_{CP} - середній діаметр щілини клапана, мм;
$F_{ПР}$ - сила присосування заготовки, Н;
f - площа робочого вікна клапана, мм^2;
f_K - площа поперечного перерізу каналу клапана, мм;
h_K - критична величина підняття перекриваючого елемента, мм;
$L_{ПР}$ - величина виступу плунжера за торець тарілки, мм;
n - показник адіабати;
P - тиск в кільцевому січені зазору h_2 на радіусі r_0, Па;
P_0 - тиск на виході з конічної щілини клапана, Па;
P_B - тиск відкриття клапана, Па;
P_{K1} - тиск утримання клапана у відкритому стані, Па;
P_{K2} - тиск закриття клапана, Па;
$P_{н.к.}$ - тиск повітря в наповнювальній камері, Па;
$_{\Delta}p_K$ - перепад тисків на щілині клапана, Па;
Q - витрати повітря через клапан, м^3/с;
R_C - реактивна сила потоку, Н;
T - абсолютна температура повітря, К;
V_0 - швидкість радіального потоку на виході з конічної щілини клапана, м/с;
x_0 - початкова деформація пружини, мм

Універсальний пневмоструменевий захоплювач з регульованою силою утримування (а.с. №800092) зображений на рис.1. Він містить корпус 1 з кришкою 2 і вмонтованою між ними перегородкою 3 таким чином, що утворюються відповідно верхня вхідна 4 і нижня наповнювальна 5 камери. При цьому верхня камера 4 з'єднана з джерелом стиснутого повітря повітряпідвідним каналом 6. У центральному отворі корпусу 1 з боку робочого торця встановлена і закріплена жорстко конічна тарілка 7 радіусом r_0 і кутом α, яка з фаскою цього отвору утворює кільцеву конічну щілину 8 товщиною h_1, що з'єднує камеру 5 з атмосферою. Вхідна 4 і наповнювальна 5 камери з'єднанні між собою виконаним в перегородці 3 отвором 9, який перекривається вертикально рухомо за допомогою пружини кулькою 10. До того ж, з метою направленого переміщення кулька 10 виконана з хвостовиком із направляючим стаканом 11. Для регулювання величини переміщення в кришці 2 встановлений гвинт 12.

Пружина, яка підтримує кульку 10, знизу спряжена також з вертикально рухомим плунжером 13. Цей плунжер вільно переміщується в направляючому отворі тарілки 7 і своїм нижнім кінцем виступає нижче торця тарілки на величину $L_{ПР}$, рівну максимальній зоні присосування захоплювача.

Для зменшення сили тертя, що виникатиме між заготовкою 14 та плунжером 13 на його нижньому кінці встановлено кульку 15.

Працює універсальний пневмоструменевий захоплювач у такій послідовності. В камеру 4 подається стиснуте повітря від джерела. У початковій стадії плунжер 13 знаходиться в нижньому крайньому положенні визначеним $L_{ПР}$. Завдяки цьому звільнена від дії пружини кулька 10 також опускається вниз, максимально відкриваючи прохідний отвір 9.

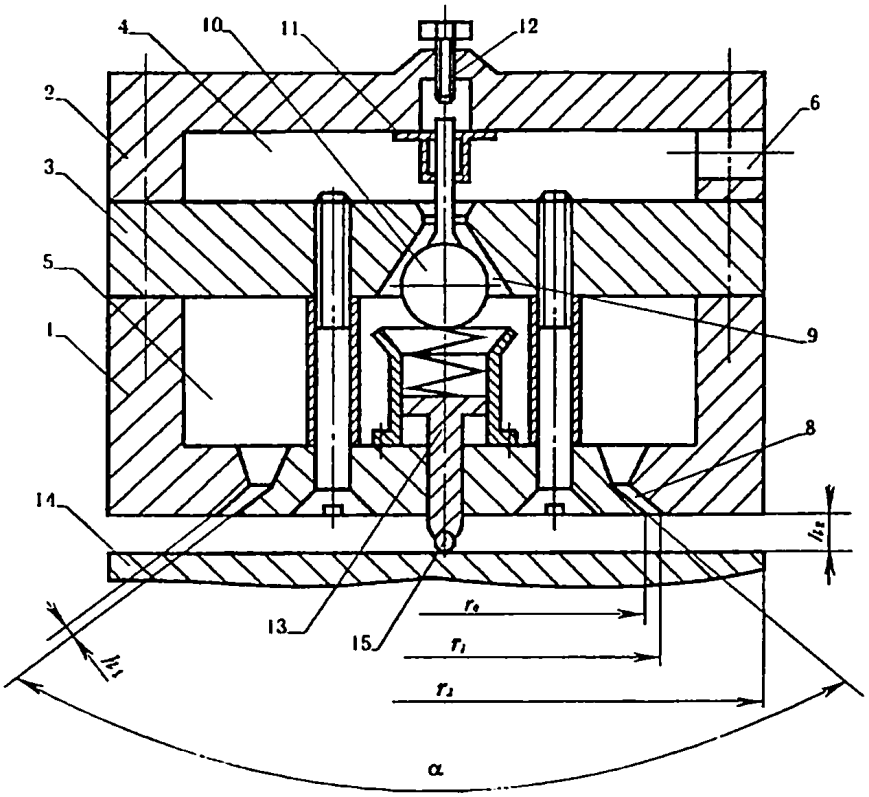


Рис.унок 1. Пневмоструменевий захоплювач

Таким чином, стиснуте повітря, яке наповнило камеру 4, через отвір 9 наповнює і наповнювальну камеру 5, а звідти крізь кільцеву конічну щілину 8 витікає в атмосферу. При такому витіканні в зазорі між торцями захоплювача й заготовки 14 утворюється аеродинамічний ефект притягання, під дією якого заготовка притягується і утримується на торці захоплювача.

Захоплення деталі відбувається з максимальної відстанні і сила при цьому повинна бути максимальною, тобто:

$$F_{MAX} \geq F_{ПР}.$$

Величина сили присосування для утримування захопленої заготовки на торці пристрою за допомогою сили в'язкого тертя, що утворена в зазорі h_2 між цим торцем і заготовкою повітряної подушки, може бути мінімальною і лімітуватися лише вагою заготовки:

$$F_{ПР} \geq G_{ЗАГ}.$$

Умова рівноваги притягнутої до торця захоплювача заготовки визначається величиною [1]:

$$F_{ПР} = F_1 + F_2 - R, \qquad (1)$$

складовими суми якої є сила присосування F_1 від розрядження $P_р$, яке виникло внаслідок ежекції на торці тарілки радіусом r_0 і рівного

$$p_p = \frac{\rho_a V_o^2}{2}, \tag{2}$$

$$F_1 = \frac{\rho_a V_o^2}{2} \pi r_o^2, \tag{3}$$

і результативна сила тиску F_2 на кільцевій ділянці потоку від r_o до r_2, що визначається інтегруванням абсолютного тиску по всій ширині кільця:

$$F_2 = \int_{r_o}^{r_2} 2\pi r (P_o - P) dr = \frac{\pi r_o^2 \rho_a V_o^2}{r_2 - r_o} \left(r_2 \ln \frac{r_2}{r_o} - r_2 + r_o \right), \tag{4}$$

з різницею реактивної сили R_C потоку при нахилі кільцевої щілини на кут α:

$$R_C = \pi r_o \rho_a V_0^2 h_2 \cos \frac{\alpha}{2}, \tag{5}$$

де ρ_a - густина повітря при нормальних умовах, кг/м^3;

P - тиск в кільцевому січені зазору h_2 на радіусі r_0, Па;

P_0 - тиск на виході з конічної щілини клапана, Па;

V_0 - швидкість радіального потоку на виході з конічної щілини клапана, м/с.

Сумарна сила присосування $F_{ПР}$, струменевого захоплювача може бути визначена за формулою:

$$F_{ПР} = \pi V_o^2 \rho_a r_o^2 \left(\frac{r_2 \ln \frac{r_2}{r_o} - r_2 + r_o}{r_2 - r_o} + 0{,}5 - \frac{h_2}{r_o} \cos \frac{\alpha}{2} \right). \tag{6}$$

Швидкість потоку повітря на виході з конічної щілини визначається

$$V_o = \frac{\mu}{\rho_a} \left(\frac{h_1}{h_2} \right)^n P_{Н.К} \sqrt{\frac{n}{RT} \left(\frac{2}{n+1} \right)^{(n+1)/(n-1)}}, \tag{7}$$

де μ=0,6...0,7 - коефіцієнт витрат повітря через кільцеву щілину ;

ρ_a=1,207 при P =10^{5}Па і t = 20 ^{o}C ;

n - показник адіабати ; n =1,4 для повітря ;

$P_{Н К}$ - тиск повітря в наповнювальній камері, Па;

R - газова стала, R=287 (сухе повітря);

T - абсолютна температура повітря, T=273 + t ^{o}C.

Для регулювання швидкості потоку повітря на виході захоплювача в залежності від маси заготовки у пристрої використаний змінний клапан. Можливе використання кулькового (рис. 2,а) та конусоподібного (рис. 2,б і 2,в) клапанів.

У момент відкривання клапана сили інерції $\left[m \frac{d^2 x}{dt^2} \right]$ дорівнюють нулю і можна вважати, що $P_{ср}$=0, а тому тиск, необхідний для відкривання клапана (для всіх типів), рівний [2]:

$$P_В = \frac{c x_o}{f_k} = \frac{4 c x_o}{\pi D_y^2}, \tag{8}$$

де c - жорсткість пружини, Н/м;

f_K - площа поперечного перерізу каналу клапана, мм;

x_0 - початкова деформація пружини, мм;

D_y - умовний діаметр каналу клапана, мм.

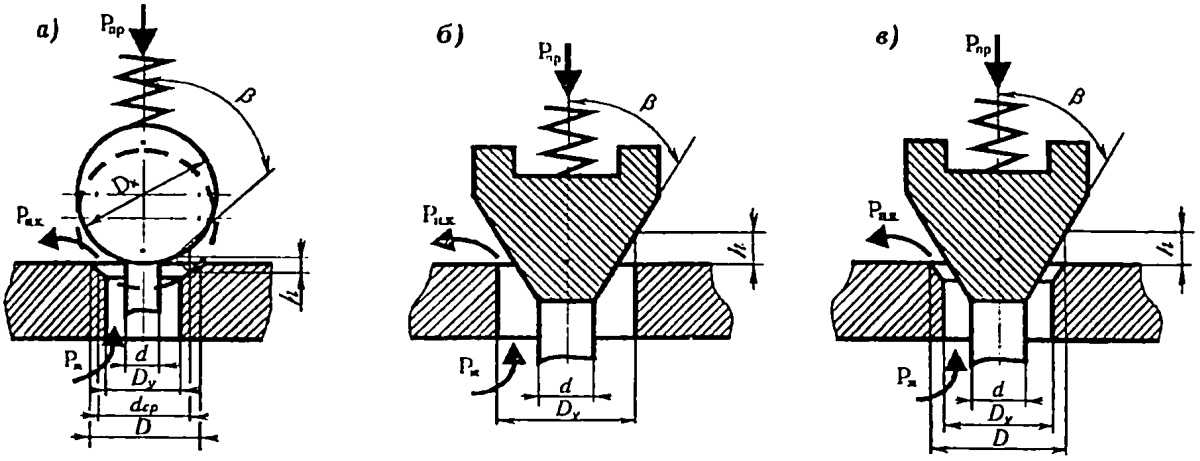


Рис.2. Пневматичні змінні клапани:
а)кульковий; б)конічний з гострокромковим сідлом; в)конічний з конічним сідлом

При досягненні тиску $P_в$ клапан починає відкриватися, долаючи зусилля пружини. Відкривання клапана визначається висотою h підняття його перекриваючого елемента над сідлом:

$$h = \frac{Q}{\mu \pi d_{CP} \sin\beta} \sqrt[2]{\frac{\rho}{2_{\Delta}p_k}}, \qquad (9)$$

де β - кут нахилу щілини клапана, град.; $\beta = 45^o$ - для кулькового клапана, $\beta = 30...60^o$ - для конусного;

d_{CP} - середній діаметр щілини клапана, мм;

$_{\Delta}p_K$ - перепад тисків на щілині клапана, Па;

Q - витрати повітря через клапан, м^3/с.

У клапанах з конусним сідлом висота підняття h перекриваючого елемента знаходиться в межах (0,25...0,5) D_y.

Якщо при проектуванні клапана $_{\Delta}p_k$ задано, то коефіцієнт жорсткості пружини визначиться залежністю [2]:

$$c = {}_{\Delta}p_k \frac{\pi D_y^2}{4h}. \qquad (10)$$

При підйомі перекриваючого елемента клапана з гострокромковим сідлом (рисунок 1.2.б) на висоту h діаметр ефективної площі перерізу конуса зменшується з D_y до $d' = D_y - h\sin 2\beta$. Крім того, за рахунок деформації пружини на висоту h збільшується сила її протидії, тому для підтримки клапана у відкритому стані потрібен тиск більший, ніж при власне відкриванні клапана:

$$P_{KI} = \frac{4c(x_o + h)}{\pi(D_y - h\sin 2\beta)^2}. \qquad (11)$$

Після відриву перекриваючого елемента від конічного сідла (рис. 2,в) тиск повітря діє на більш ефективну площу конуса. Якщо припустити, що в

щілині клапана тиск змінюється по лінійному закону і тиск виходу дорівнює нулю ($P_{н.к.}=0$), то тиск закриття клапана визначається залежністю:

$$P_{К2}=\frac{cx_o}{f_k+0{,}5f}=\frac{4cx_o}{\pi\left[D_y^2+0{,}5\left(D^2-D_y^2\right)\right]}=\frac{8cx_o}{\pi\left(D_y^2+D^2\right)}, \qquad (12)$$

де f - площа робочого вікна клапана, мм^2;

D - найбільший діаметр контакту конусної поверхні і сідла клапана; мм.

При $f=0$ $P_В=P_{К2}$, що має місце в клапанах з гострою кромкою сідла

Нестабільність роботи клапана характеризується відношенням $(P_К-P_В)/P_{К1}$. Придатними до експлуатації вважаються клапани, для яких виконується умова

$$\frac{(P_{К2}-P_В)}{P_{К2}}\le 0{,}2.$$

Діапазон регулювання клапана лежить у межах 1...5. Висоту підняття перекриваючого елемента клапана над сідлом визначають із умови рівності площ каналу підводу та робочої щілини. Мінімальну площу прохідної щілини регулюючого елемента типу сідло-кулька знаходять як бічну поверхню зрізаного конуса, яку можна визначити за формулою [3]:

$$\theta_1=\pi\frac{h}{2}\left(2b+D_y\right)\sqrt[2]{1+\left(\frac{2b-D_y}{2h}\right)^2}, \qquad (13)$$

де $b=\frac{D_y}{2}-\frac{D_y l}{D_К}\cos\left(\arcsin\frac{D_y}{D_К}\right)$;

$D_К$ - діаметр кульки, мм.

Тоді критична висота підняття перекриваючого елемента визначається для сідла-кулька по формулі

$$h_{К1}=\frac{1}{2}\sqrt[2]{\left(\frac{D_y^2-d^2}{2b+D_y}\right)^2-\left(2b+D_y\right)^2}, \qquad (14)$$

де d - діаметр хвостовика, мм.

Для конічних клапанів мінімальну площу робочої щілини визначають за формулою:

$$\theta_2=\pi h\sin\beta\left(D_y-h\sin\beta\cos\beta\right). \qquad (15)$$

Порівнявши площі каналу підводу $\theta_n=\frac{\pi}{4}\left(D_y^2-d^2\right)$ і мінімальну площу прохідної щілини, отримаємо для конічних клапанів:

$$h_{К2}=\frac{D_y-\sqrt[2]{D_y^2-\cos\left(D_y^2-d^2\right)}}{\sin\beta\cos\beta}. \qquad (16)$$

Ефективність струменевого захоплюючого пристрою з кільцевою щілиною на торці залежить від оптимального співвідношення між зазором h_2 і товщиною h_1 конічної щілини, що вимірюється в нормальному до поверхні фасок напрямку і рівному приблизно 0,12м і максимальна сила присосування $F_{ПР}$ (до 250-300 Н) забезпечується, коли $h_2/h_1=2{,}8...3{,}2$, а кут нахилу щілини $\alpha=120..150^o$.

Для стійкої роботи струменевих захоплювачів і їх приводів рекомендується магістральний тиск (18,62-49,05) 10^4 Па. Захоплювачі прості у виготовленні, зручні в експлуатації, один і той самий захоплювач може використовуватися для подачі різних за розмірами,матеріалом і конфігурацією заготовок, що знижує вимоги до похибок розрахунків.

Summary. The article "Regulated pneumatic stream capture" deals with the structure and work's principles of universal pneumatic stream capture, which uses aerodynamic effect for attraction by the piece of half-finished products. Capture has a possibility to regulate independently the attractive power of separated detail depending on its mass with the help of variable valve which via plunger has a connection with a surface of detail is used in this devise. The article also includes detailed calculations of several types of regulative capture's elements.

Література

1. Усов Б.А., Проць Я.И. Выбор параметров струйных захватов для промышленых роботов и манипуляторов // Известие вузов. Машиностроение.-1986.-№1.-С.152-156.
2. В.О.Федорец, М.Н.Педченко, В.Б.Струтинський та ін.За ред. В.О.Федорцяю Гідроприводи та гідропневмоавтоматика; Підручник. К.:Вища школа, 1995.-463 с.
3. ДмитриевВ.Н., Градецкий В.Г. Основы пневмоавтоматики-М.: Машино- строение, 1973.-360 с.